

УДК 531.31.15+669

*Мороз В. В.,
к.ф.-м.н. Рубежанский В. И.,
к.т.н. Левченко Э. П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОСТАДИЙНОЙ РАБОТЫ ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКИ

Проведены исследования возможностей обеспечения подачи агломерата с помощью зубьев ротора на последующее многоступенчатое дробление по высоте рабочей камеры одновалковой зубчатой дробилки. В соответствии с поставленной задачей получен закон движения отдельного куска агломерата и зависимость высоты консольных колосников в верхней части рабочей камеры машины.

Ключевые слова: одновалковая зубчатая дробилка, колосники, многоступенчатое дробление, закон движения, аналитический расчет.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одним из главных направлений снижения затрат на выплавку чугуна и повышение эффективности работы доменных печей является стабилизация фракционного состава агломерата, получаемого после дробления агломерационного спека [1].

Известно, что в настоящее время наиболее широко распространенная для дробления горячего агломерата типовая конструкция одновалковой зубчатой дробилки в полной мере не удовлетворяет технологическим требованиям доменной плавки с точки зрения рациональной крупности готового агломерата [1]. Это в значительной степени увеличивает расход кокса на плавку [2] и снижает экономическую эффективность производства чугуна.

Низкое потребительское качество доменного сырья обусловлено самим конструктивным решением одновалковой зубчатой дробилки, основным фактором которого, вероятно, послужила простота устройства данной широко распространенной машины.

По сути, в принятой схеме дробления осуществляется однократное продавливание агломерационного спека зубьями вращающегося ротора через колосники, расстояние между которыми достигает 200 мм, что и обуславливает неравномерность гранулометрического состава готового продукта.

Поэтому актуальным вопросом является создание возможности осуществления многостадийности дробления без существенных изменений основной конструкции типовой дробилки горячего агломерата.

Постановка задачи. Задачей исследований является установление возможности организации подачи кусков агломерата в верхнюю часть многоступенчатой модернизированной конструкции одновалковой зубчатой дробилки с помощью зубьев ротора.

Изложение материала и его результаты. Рассмотрим принципиальную схему многоступенчатой одновалковой зубчатой дробилки [3], модернизированной для обеспечения наложения многократных усилий разрушения на куски агломерата (рис. 1). В ней плоские колосники видоизменены на закругленные, которые выполняют функцию классификатора для выхода готового продукта необходимой, ограниченной по размерам крупности. Имеющиеся же на внутренней поверхности консольные колосники обеспечивают многоступенчатый циклический характер наложения усилий на крупные куски вплоть до их разрушения до размеров щелей между закругленными колосниками. Основным преимуществом данного способа является гарантированное обеспечение максимальной крупности до нужных размеров.

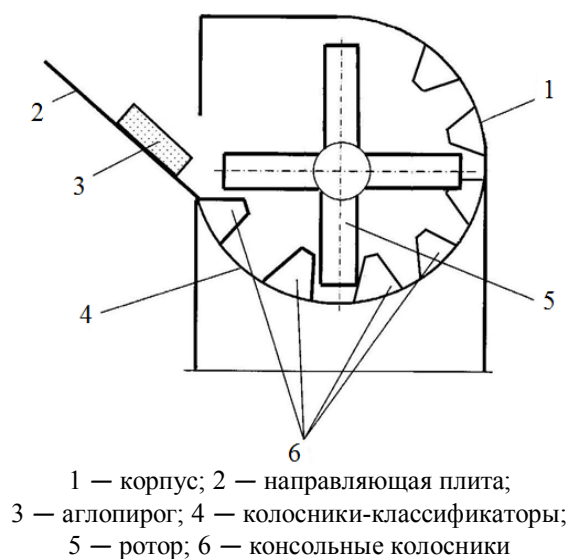


Рисунок 1 Многоступенчатая одновалковая зубчатая дробилка

Проведенный ранее анализ конструктивных особенностей данной схемы показал [4], что при размерах зазоров между закругленными колосниками, обеспечивающих желаемую крупность готового продукта для обеспечения эффективности работы машины возникает необходимость в размещении колосников консольного типа и в верхней части рабочей камеры. При этом подачу агломерата без существенного усложнения конструкции можно организовать с помощью зубьев ротора по их образующей поверхности. Однако в данном случае особую роль играет сила тяжести, которая затрудняет организацию подачи агломерата под действия консольных колосников, расположенных в верхней части рабочей камеры машины. Это требует рассмотрения особенностей такой возможности.

С учетом предложенных конструктивных особенностей актуальной становится задача математического описания движения отдельного куса агломерата по поверхности зуба одновалковой дробилки с целью определения закономерности его сползания по мере вращения ротора, что даст возможность выявить необходимую высоту консольного колосника в верхней части рабочей камеры дробилки и обосновать иные необходимые параметры рабочей зоны.

Рассмотрим условия равновесия куса агломерата на поверхности зуба при равномерном вращении ротора (рис. 2).

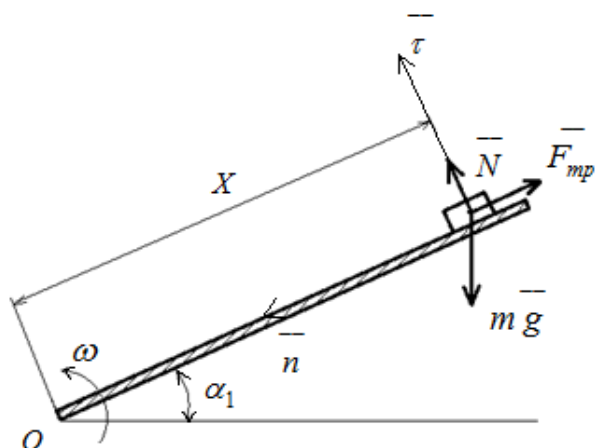


Рисунок 2 Расчетная схема движения куса агломерата

Дифференциальные уравнения движения покоящегося куса агломерата на плоской поверхности зуба в подвижной системе координат (τ, n) имеют вид:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= N - m \cdot g \cdot \cos \alpha_1, \\ m \frac{V^2}{\rho} &= m \cdot g \cdot \sin \alpha_1 - F_{mp}, \\ F_{mp} &= f \cdot N, \end{aligned} \quad (1)$$

где m — масса куса агломерата; V — скорость куса; t — время движения куса; N — сила нормального давления; g — ускорение свободного падения; α_1 — начальный угол, при котором происходит движение куса; ρ — радиус кривизны; F_{mp} — сила трения; f — коэффициент трения агломерата о поверхность зуба ротора.

В качестве α_0 принят угол наклона неподвижной поверхности.

Уравнения (1), в случае отсутствия движения груза, преобразуются в зависимость для определения предельного расположения плоскости зуба:

$$\sin \alpha_1 - f \cdot \cos \alpha_1 - \frac{\omega^2 \cdot X}{g} = 0, \quad (2)$$

где X — расстояние от центра тяжести куска агломерата до центра вращения (точка O); ω — угловая скорость вращения ротора одновалковой зубчатой дробилки.

Сразу отметим, что угол α_1 зависит также от угловой скорости ротора ω и места положения куска на поверхности зуба X .

Решением уравнения (2) является зависимость

$$\sin \alpha_1 = \frac{\omega^2 \cdot X \pm f \sqrt{g^2(1+f^2) - \omega^4 \cdot X}}{g(1+f^2)}. \quad (3)$$

Отрицательное значение угла α_1 в дальнейшем не рассматривается, так как не соответствует поставленной задаче.

Относительное движение.

Векторная форма уравнения относительного движения куска агломерата запишется как:

$$m \bar{a}_{отн} = m \bar{g} + \bar{N} + \bar{F}_{тр} + \bar{F}_{кор}^{ун} + \bar{F}_{пер}^{ун}, \quad (4)$$

где $\bar{a}_{отн}$ — относительное ускорение куска агломерата; $\bar{F}_{кор}^{ун}$ — кориолисова составляющая сила инерции куска; $\bar{F}_{пер}^{ун}$ — переносная составляющая силы инерции куска.

При этом модули кориолисовой и переносной сил инерции соответственно равны

$$F_{кор}^{ун} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \dot{X}; \quad F_{пер}^{ун} = m \cdot \omega^2 \cdot X.$$

Уравнение (4) в проекциях на подвижные оси X, Y (рис. 3), связанные с плоскостью зуба, при сохранении в первом приближении зависимости для силы трения $F_{тр} = f \cdot N$ и отсутствия ускорения $\ddot{Y} = \dot{a}_{пер}^{\tau} = 0$ дает окончательное дифференциальное уравнение относительного движения куска агломерата:

$$\ddot{X} + 2 \cdot \omega \cdot f \cdot \dot{X} - \omega^2 X = g[f \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_1) - \sin(\omega \cdot t + \alpha_1)] \quad (5)$$

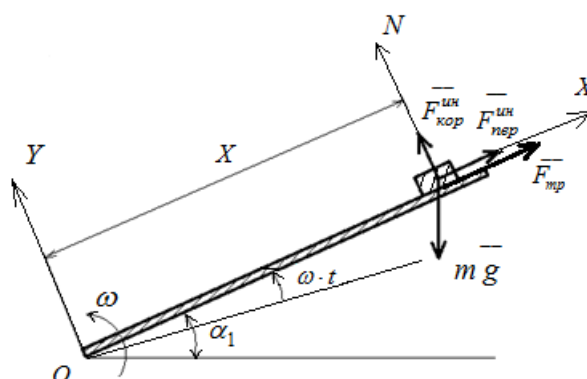


Рисунок 3 Расчетная схема движения куска агломерата в подвижных осях

Стандартная процедура интегрирования уравнения вида (5) приводит к общему решению:

$$X = C_1 e^{(k_1-b)t} + C_2 e^{-(k_1+b)t} + A \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha_1 - \beta_1) + A \cdot f \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha_1 - \beta_1), \quad (6)$$

где соответственно C_1 и C_2 постоянные интегрирования;

$$b = f \cdot \omega;$$

$$k_1 = \omega \sqrt{1+f^2};$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = -f;$$

$$A = \frac{g}{2 \cdot \omega^2 \sqrt{1+f^2}}.$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся из начальных условий: $t=0$;

$X=X_0$; $\dot{X} = 0$ и равны

$$C_1 = \frac{D_1}{2k_1}; \quad C_2 = \frac{D_2}{2k_1}. \quad (7)$$

При этом

$$D_1 = -A \cdot \omega \cdot \cos(\alpha_1 - \beta_1) + A \cdot \omega \cdot f \cdot \sin(\alpha_1 - \beta_1) + \omega \left(f + \sqrt{1 + f^2} \right) \times [X_0 - A \cdot \sin(\alpha_1 - \beta_1) - A \cdot f \cdot \cos(\alpha_1 - \beta_1)],$$

$$D_2 = \omega \left(\sqrt{1 + f^2} - f \right) \times [X_0 - A \cdot \sin(\alpha_1 - \beta_1) - A \cdot f \cdot \cos(\alpha_1 - \beta_1)] + A \cdot \omega \cdot \cos(\alpha_1 - \beta_1) - A \cdot \omega \cdot f \cdot \sin(\alpha_1 - \beta_1).$$

Решения (3) и (6) позволяют найти закон движения куска агломерата по поверхности рабочей части зуба ротора дробилки в зависимости от угловой скорости ω вращения ротора, начального положения куска и коэффициента трения f , зависящего от состава и физических свойств агломерата, а также от материала зубьев ротора и качества выполнения их рабочих поверхностей.

Зависимости закона движения куска агломерата при его подъеме в верхнюю часть рабочей камеры дробилки зубьями ротора приведены на рисунках 4–5.

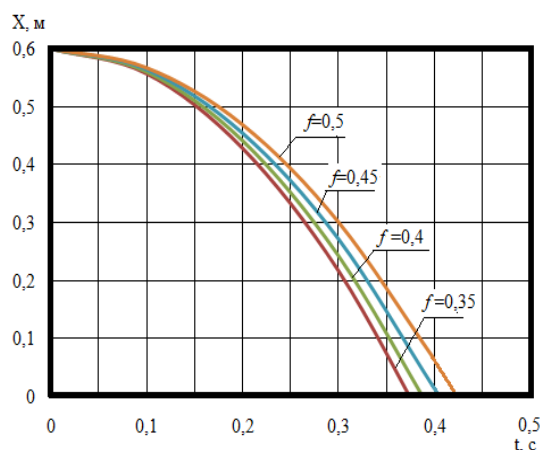


Рисунок 4 Зависимость величины сползания куска от времени при различных значениях коэффициента трения f при $n = 6$ об/мин

Из графика на рисунке 4 видно, что уменьшение коэффициента трения приводит к увеличению величины переме-

щения куска агломерата от конца зуба звездочки ротора к центру вращения. Наибольшая величина такого перемещения соответствует времени поворачивания ротора в пределах 0,4 с.

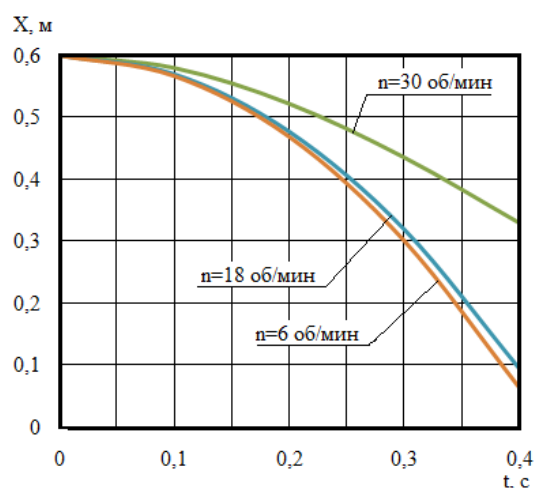


Рисунок 5 Зависимость величины сползания куска от времени при различных значениях частоты вращения ротора и коэффициенте трения $f = 0,35$

В таблице 1 приведены рассчитанные величины углов отклонения от горизонтали зуба ротора в зависимости от времени его поворота.

Таблица 1
Зависимость угла наклона зуба от времени

Время, t, с	Угол, град.
0,1	31,34
0,2	34,95
0,3	38,56
0,4	42,17

Выводы и направление дальнейших исследований.

Анализ полученных зависимостей дает возможность задать необходимую высоту консольных колосников в верхней части рабочей камеры дробилки для гарантированного контакта с ними кусков агломерата, поднимаемых по рабочей поверхности зубьев ротора.

Для более полного описания изучаемого процесса в дальнейших исследованиях планируется учесть непостоянство коэффициента трения движения.

Библиографический список

1. Мороз, В. В. Перспективы повышения эффективности доменной плавки путем стабилизации фракционного состава дробленого агломерата [Текст] / В. В. Мороз, Э. П. Левченко, О. А. Левченко // Современная наука: исследования, технологии, проекты: сборник материалов V международной научно-практической конференции. — М. : Издательство «Перо», 2015. — С. 471—476.
2. Развитие технического уровня одновалковых зубчатых дробилок горячего агломерата [Текст] : монография / О. А. Левченко и др. — Алчевск : ДонГТУ, 2016. — 190 с.
3. Мороз, В. В. Способ многостадийной обработки агломерата в одновалковой зубчатой дробилке [Текст] / В. В. Мороз, Э. П. Левченко, Н. А. Бондарь // Современная металлургия нового тысячелетия : сборник научных трудов II международной научно-практической конференции. — Липецк : Изд-во Липецкого гос. техн. ун-та, 2016. — С. 271—275.
4. Мороз, В. В. Инновационный способ многостадийной обработки агломерационного спека в одновалковой зубчатой дробилке [Текст] / В. В. Мороз, Э. П. Левченко // Инновационные технологии в промышленности, образование, наука и производство : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2016. — С. 398—400.

© Мороз В. В.
© Рубежанский В. И.
© Левченко Э. П.

Рекомендована к печати зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ, д.т.н., проф. Еронько С. П., д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Харламовым Ю. А.

Статья поступила в редакцию 27.09.17.

Мороз В. В., к.ф.-м.н. Рубежанський В. І., к.т.н. Левченко Е. П (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ БАГАТОСТАДІЙНОЇ РОБОТИ ОДНОВАЛКОВОЇ ЗУБЧАСТОЇ ДРОБАРКИ

Проведено дослідження можливостей забезпечення подання агломерату за допомогою зубців ротору на наступне багатоступеневе дроблення за висотою робочої камери одновалкової зубчастої дробарки. У відповідності до поставленої задачі отримано закон руху окремого шматка агломерату та залежність висоти консольних колосників у верхній частині робочої камери машини.

Ключові слова: *одновалкова зубчаста дробарка, колосники, багатоступеневе дроблення, закон руху, аналітичний розрахунок.*

Moroz V. V., PhD in Physics and math Sciences Rubezhansky V. I., PhD Levchenko E. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)
ANALYSIS OF PROVIDING THE OPPORTUNITIES FOR THE MULTI-STAGE WORK OF A SINGLE-GEAR GRAVING CRUSHER

It has been investigated the possibility of providing the agglomerate feeding using rotor teeth for the subsequent multistage crushing along the height of the working chamber of a single-roll crusher. In accordance with the task, the law of motion has been obtained for the a separate piece of agglomerate as well as the dependence of the height of the cantilever grates in the upper part of the working chamber of the machine.

Key words: *single-shaft gear crusher, grate, multi-stage crushing, motion law, analytical calculation.*